

Modelli interpretativi della distribuzione delle brughiere pedemontane ai fini gestionali

Guido Brusa *, Bruno Cerabolini *

Riassunto

Lo studio vuole contribuire alla conoscenza delle brughiere pedemontane a *Calluna vulgaris* (brugo) dell'Italia settentrionale, ai fini di individuare elementi rilevanti per la gestione e la conservazione. L'area di studio è compresa nella porzione collinare e pianiziale della provincia di Como e in un breve tratto di quella di Milano. Sono stati impiegati i Generalized Linear Models per individuare quali tra le variabili ambientali interpretino più adeguatamente la distribuzione delle brughiere. Il modello finale indica un'influenza positiva della geomorfologia (rilievi prealpini e depositi mindeliani), del bioclimate (indice di Gams), della ricorrenza degli incendi e negativa del suolo (ultisols). La superficie potenzialmente occupata dalle brughiere corrisponde a circa il 7% del territorio attualmente a bosco, a prato oppure coltivato; tuttavia le brughiere si estendono oggi su meno dell'1% di questa superficie. La copertura della canopy influisce negativamente sulla presenza delle brughiere, con valori di Leaf Area Index tra 1.5-2.3, rilevanti una progressiva riduzione nella frequenza di brugo. Si desume pertanto il complessivo carattere relittuale di questo tipo di vegetazione, da ricollegarsi al diffuso abbandono della gestione tradizionale. Emerge in definitiva la necessità di dare ampio impulso ad attività che sostengono la conservazione e il ripristino delle brughiere.

Parole chiave: brughiera, conservazione habitat, fuoco, Generalized Linear Model, geomorfologia, Leaf Area Index, suolo, ecologia vegetale.

* Università degli studi dell'Insubria, Dipartimento di Biologia strutturale e funzionale, Unità di Ecologia vegetale e Fitogeografia, via Dunant 3 - I-21100 Varese. E-mail: guido.brusa@uninsubria.it; bruno.cerabolini@uninsubria.it

Summary

The study contributes to knowledge of piedmont Calluna vulgaris-dominated heathlands in Northern Italy, in order to recognize relevant information for management and conservation aims. The study area was located in the hilly part and the plain of Como province and also in a small portion in that of Milan. Generalized Linear Models were used to identify environmental variables that explained mostly heathland distribution. The final model showed positive correlation of geomorphology (Prealpine foothills and Mindelian deposits), bioclimate (Gams' Index), occurrence of fire and negative correlation of soil type (ultisols). The area potentially covered by heathland is about 7% of present woodland, grassland and cropland; however heathlands currently occur in less than 1% of this area. The canopy cover negatively affected heathlands and in particular values of Leaf Area Index between 1.5-2.3 showed an increasing fall in heather occurrence. The remnant condition of the habitat is noticeable, due to widespread lack of traditional management. In conclusion, action plans are extensively needed for the conservation and restoration of heathlands.

Key words: fire, Generalized Linear Model, habitat conservation, heathland, geomorphology, Leaf Area Index, soil, vegetation ecology.

Introduzione

L'importanza ecologica delle brughiere planiziali è stata sancita dalla Dir. 92/43/EEC, comunemente nota come Direttiva Habitat, che riporta nell'Allegato I "Natural habitat types of community interest whose conservation requires the designation of special areas of conservation" le brughiere asciutte europee (codice Natura 2000: 4030) di *Calluno-Geniston pilosae* (EUROPEAN COMMISSION - DG ENVIRONMENT 2007).

Nell'Italia settentrionale le brughiere pedemontane, che possono essere considerate come l'espressione più meridionale delle brughiere planiziali in Europa (CERABOLINI *et al.* 2004), sono oggi in progressiva riduzione, anche per una serie di vicissitudini storiche intercorse negli ultimi due secoli (SULLI 1985; SULLI & SULLI 1994). Come ricorda GIMINGHAM (1972), le brughiere sopravvivono soltanto se regolarmente gestite, sono infatti vegetazioni secondarie di ricolonizzazione di terreni disboscati (PAVARI 1927; PEREGO 1957), sia per rimozione diretta (taglio) sia indiretta (pascolo e incendio) del soprassuolo forestale, e il loro mantenimento nel lungo periodo dipende dall'incessante intervento dell'uomo che contrasta il ritorno del bosco con metodiche simili a quelle che hanno determinato la loro genesi. La brughiere non deve però essere vista banalmente come una vegetazione di

degrado, perché racchiude in sé una elevata e centrale importanza naturalistica (ANDREIS & CERABOLINI 1995).

Il presente studio vuole dunque contribuire alla conoscenza delle brughiere pedemontane a *Calluna vulgaris* (brugo) dell'Italia settentrionale, al fine di individuare elementi rilevanti per la gestione e la conservazione di questi habitat di importanza comunitaria.

Materiali e metodi

Analisi geostatistica: l'area di studio (Fig. 1) si estende su una superficie pari a 373.25 km², di cui il 98.3% compreso nella porzione collinare e planiziale della provincia di Como e il restante 1.7% in quella di Milano. Quest'ultima frazione corrisponde all'ambito territoriale milanese del Parco Locale di Interesse Sovracomunale Brughiera Briantea, ubicato nei comuni di Lentate sul Seveso e Meda (amministrativamente questi comuni saranno ricompresi nella provincia di Monza-Brianza).

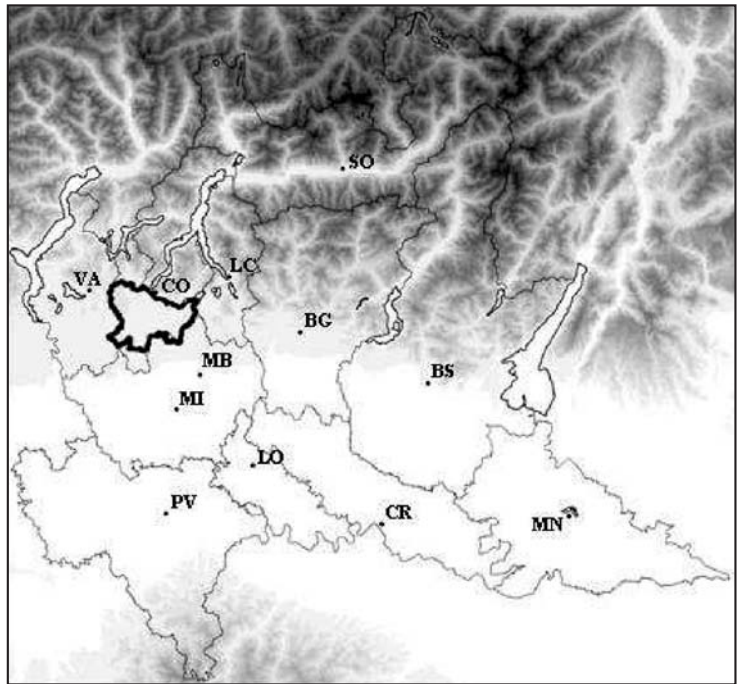


Fig. 1: localizzazione dell'area di studio nella regione Lombardia.

È stato effettuato un censimento in tutta l'area, avvalendosi anche di tecniche di fotointerpretazione, ai fini di accertare il maggior numero possibile di stazioni potenzialmente caratterizzate dalla presenza di piante di brugo. Tra queste sono state considerate come habitat di brughiera gli ambienti con copertura di

brugo superiore ad 1/8 della superficie investigata (generalmente superiore a 25 m²). Tutte le stazioni identificate sono state quindi georeferenziate.

In seguito sono stati individuati casualmente 309 siti georeferenzati all'interno delle formazioni boschive dell'area di studio. Questo insieme di siti, in cui si è verificata l'assenza di brugo, costituisce pertanto il set di controllo rispetto a quello individuato tramite censimento. La scelta di limitare la verifica alle sole formazioni boschive è derivata dal precedente censimento, in cui si è riscontrato che le stazioni con brugo ricadono in aree qualificate come bosco dalla cartografia relativa all'uso del suolo (REGIONE LOMBARDIA 2000).

Nelle analisi statistiche sono state considerate 10 variabili ambientali (Tab. 1), spazializzate sull'intera area di studio (tra parentesi è riportata l'abbreviazione utilizzata):

1. **pedologia (pedo)**: le unità di suolo sono state classificate sulla base del WRB (FAO 1998). Sono state pertanto considerate le seguenti unità: cambisols, luvisols, ultisols (comprendente i luvisols antichi, fortemente desaturati e con orizzonti a fragipan), umbrisols e la categoria "suolo-altro" (comprendente unità poco rappresentate nell'area di studio, come fluvisols, phaeozems e regosols);

2. **geomorfologia (geo)**: sono state considerate le seguenti morfologie del territorio: prealpi (rilievi alpini al bordo della pianura), mindel (terrazzi e cordoni morenici mindeliani), riss (terrazzi e cordoni morenici rissiani), wurm-m (morene wurmiane e relativi fondovalli e piane interglaciali), wurm-p (livello fondamentale della pianura formatasi per colmamento alluvionale durante l'ultima glaciazione) ed olocene (terrazzi e piane alluvionali recenti);

3. **altimetria (quota)**: è stato impiegato un modello digitale del terreno (in m s.l.m.), il cui passo di campionamento è di 20 m;

4. **temperatura media annuale (temp)**, espressa in °C: la distribuzione nell'area di studio è stata rielaborata sulla base dei modelli riportati da RAIMONDI (2003);

5. **precipitazioni medie annuali (prec)**, espresse in mm a⁻¹: rielaborate da RAIMONDI (2003);

6. **indice di continentalità idrica di Gams (gams)**: è stato calcolato secondo la seguente formula: $\cotg \alpha = \text{prec}/\text{quota}$. Per valori di quota inferiori a 900 m è stata invece impiegata la seguente formula (MICHALET 1991): $\cotg \alpha = (\text{prec} - ((900 - \text{quota}) / 100 * \text{prec} * 10)) / \text{quota}$;

7. **indice pluviometrico di Lang (lang)**: è stato calcolato secondo la seguente formula: prec/temp ;

8. **irraggiamento solare (solar)**: rappresenta una stima della radiazione solare giornaliera (WH m⁻² d⁻¹), considerando unicamente i giorni equinoziali e solstiziali; è stata calcolata impie-

gando il programma Solar Analyst (FU & RICH 1999-2000);
 9. **distanza dagli elettrodotto (elettro)**: è stata considerata una fascia di 21 m per ciascun lato dell'elettrodotto;
 10. **incendi (fuoco)**: rappresenta la percentuale di anni con almeno un incendio boschivo nel periodo 1990-2001; è stata valutata su base comunale.

Sigla	Descrizione	Fonte
1	pedo pedologia	<i>Carta dei suoli...</i> 2004
2	geo geomorfologia	REGIONE LOMBARDIA 2003a
3	quota modello digitale del terreno (DTM)	REGIONE LOMBARDIA 2003b
4	temp temperatura media annuale	rielab. da RAIMONDI 2003
5	prec precipitazioni medie annuali	rielab. da RAIMONDI 2003
6	gams indice di continentalità idrica di Gams	rielab. da RAIMONDI 2003
7	lang indice pluviometrico di Lang	rielab. da RAIMONDI 2003
8	solar radiazione solare	originale
9	elettro elettrodotto	REGIONE LOMBARDIA 2000
10	fuoco % di anni con almeno un incendio boschivo	REGIONE LOMBARDIA 2003c

Tab. 1: elenco delle variabili ambientali considerate nell'analisi statistica finalizzata all'elaborazione di un modello distributivo di *Calluna vulgaris* e dell'habitat di brughiera. Per ciascuna variabile ambientale considerata viene riportata la sigla e la relativa fonte bibliografica.

Ad ogni sito georeferenziato indagato, in totale 500, è stato quindi assegnato il corrispondente valore di ciascuna variabile ambientale in precedenza elencata. Le variabili di tipo qualitativo suolo e geo sono state tuttavia trasformate in variabili dummy. Sono stati impiegati i Generalized Linear Models (GLM; funzione link: logaritmo naturale; distribuzione dell'errore: Poisson) per individuare quali tra le variabili ambientali considerate interpretano più adeguatamente la distribuzione del brugo e delle brughiere nell'area di studio. Nello specifico si è considerata una variabile risposta (Cv) che può assumere tre valori: 0 = sito con assenza di brugo; 1 = sito con uno/pochi individui di brugo (copertura del brugo minore ad 1/8 della superficie investigata); 2 = sito con presenza di brughiera (copertura di brugo almeno 1/8).

È stata controllata la matrice di correlazione (coefficiente per ranghi di Spearman, ρ) tra tutte le variabili ambientali, al fine di individuare un eccesso di correlazione tra due coppie qualsiasi. Nel caso di una forte correlazione ($|\rho| > 0.7$) è stata mantenuta solamente la variabile ambientale che meglio interpretava la variabile risposta (Cv) nel modello univariato.

Tutti i siti censiti sono stati suddivisi a loro volta in due sotto-gruppi: il training set (comprendente i 2/3 dei siti) e l'evaluation set (il restante 1/3). Inizialmente si è stimato sul training set un modello univariato per ciascuna variabile ambientale. In seguito si è valutato un modello multivariato tramite una stepwise re-

gression con procedura backward, impiegando l'Akaike Information Criterion (AIC) come regola di arresto (SAKAMOTO *et al.* 1986). La non-linearità e le interazioni tra le variabili esplicative sono state testate introducendo termini al quadrato e interazioni tra le variabili ambientali risultate significative nei precedenti modelli. Le differenze statistiche tra tutti i modelli elaborati sono state esaminate tramite il test del Chi-quadro, al fine di individuare quale modello meglio interpreta la distribuzione della variabile risposta Cv.

Sono stati in seguito individuati due cut-off level della variabile Cv stimata dal modello finale, con lo scopo di ottimizzare la proporzione di corrette predizioni per i valori $C_v = 1$ e $C_v = 2$. In altre parole, i cut-off level rappresentano un compromesso tra la probabilità di individuare correttamente siti con brugo (o con brughiera) e la probabilità di individuare correttamente siti in cui questa specie (o la brughiera) è assente. I cut-off level sono stati calcolati tramite uno stump tree ricavato impiegando la tecnica unbiased recursive binary partitioning (HOTHORN *et al.* 2006). Il modello finale è stato quindi validato sull'evaluation dataset, stimando la sua performance tramite la statistica kappa di Cohen (SIEGEL & CASTELLAN 1988).

Per ciascuna variabile entrata nel modello finale è stato prodotto un raster (grid) con celle di 20 m. È stato dunque possibile spazializzare il modello su tutte le aree con vegetazione naturale (prevalentemente boschi) e con uso del suolo di tipo agricolo (prati e coltivi). Le analisi spaziali sono state eseguite con il software ArcView GIS 3.2 (ESRI Inc., Redlands, California), mentre tutte le analisi statistiche sono state effettuate impiegando diverse library nella piattaforma software R (*R: a language....* 2006), una open source version di S-PLUS (IHAKA & GENTLEMAN 1996).

Leaf Area Index: nell'ambito delle brughiere del terrazzo mindeliano di Brenna (provincia di Como) si sono individuate 10 fitocenosi, a diverso grado di ricoprimento di *C. vulgaris*. Le comunità indagate sono state scelte in modo tale da coprire tutta la gradazione floristico-vegetazionale lungo la successione ecologica del pianalto e quindi da vegetazioni aperte di brughiera sino alle formazioni forestali (boscaglie di invasione di pioppo tremolo e pinete di pino silvestre). In ciascuna comunità individuata si è posizionato casualmente un transetto di 15 m di lunghezza. Ad intervalli di 3 m è stato collocato un reticolo di 1x1 m, suddiviso in 16 maglie da 25x25 cm. Nel reticolo è stata quindi rilevata la presenza/assenza di brugo in ciascuna maglia; la frequenza complessiva di questa specie in ciascun reticolo è quindi compresa tra 0 e 16.

Il Leaf Area Index (LAI) è un parametro adimensionale che esprime la superficie fogliare che insiste su di una unità di superficie topografica. In ciascun punto del transetto in cui è stato collo-

cato il reticolo, si è proceduto alla misurazione del LAI mediante lo strumento LAI 2000 - Plant Canopy Analyzer (Li-cor Inc., Lincoln-USA); il sensore di tale strumento è stato posizionato ad un'altezza di circa 1 m da terra, escludendo in tal modo lo strato erbaceo delle fitocenosi e includendo l'eventuale copertura di *Pteridium aquilinum*. I valori di LAI riferiti a boschi con presenza di conifere non sono stati corretti, come invece suggerito da GOWER & NORMAN (1991), in quanto nelle fitocenosi rilevate le conifere sono presenti in consorzi misti a latifoglie. La possibile relazione esistente tra i valori di LAI e la frequenza di brugo (FC) in ciascun reticolo è stata stimata tramite regressione con il metodo dei minimi quadrati, servendosi della piattaforma software R (*R: a language....* 2006).

Risultati e discussione

Il valore del coefficiente relativo a ciascuna variabile ambientale e ricavato dal modello univariato viene riportato nella tabella 2, assieme al rispettivo valore della statistica AIC. Un coefficiente positivo indica che valori crescenti della variabile ambientale determinano un incremento anche della variabile Cv; in altre parole, la variabile ambientale influisce positivamente sulla presenza di brugo e dell'habitat di brughiera. In antitesi, un coefficiente negativo suggerisce un effetto sfavorevole della variabile ambientale sulla presenza del brugo e dell'habitat di brughiera. Minore è il valore della statistica AIC, maggiore è invece la capacità da parte di una determinata variabile ambientale di inter-

Variabile		Coefficiente	AIC
geo	(mindel)	+1.1809	504.7
geo	(riss)	-3.2559	508.0
geo	(wurm-m)	-2.4008	519.3
gams		+0.1563	522.9
pedo	(cambisols)	-1.8025	523.8
geo	(recente)	-16.3831	530.0
fuoco		+0.0125	530.0
pedo	(luvisols)	+0.7421	530.6
quota		+0.0038	532.3
temp		-0.6801	538.4
pedo	(ultisols)	-0.5859	539.9
geo	(prealpi)	+0.5017	540.2
pedo	(umbrisols)	+0.4461	541.7
prec		-0.0026	542.0
elettro		+0.6604	542.6
solar		+0.0004	545.2
lang		-0.0027	546.8

Tab. 2: valore del coefficiente e della statistica AIC nel modello univariato elaborato per ciascuna variabile ambientale.

pretare la variabilità di Cv. Nello specifico la variabile geo(min-del) (geomorfologia a cordoni morenici e terrazzi mindeliani) esibisce il valore più basso di AIC; di conseguenza la presenza di questo tipo di morfologia del territorio influisce positivamente sulla presenza di brugo e brughiere. Di particolare rilevanza è pure l'influenza di altre due variabili legate alla geomorfologia, geo(riss) e geo(wurm-m), anche se incidono in modo negativo sulla presenza di *C. vulgaris*.

Nella tabella 3 sono riportati i valori dei coefficienti di correlazione per ranghi di Spearman (ρ) tra tutte le variabili ambientali. Si riscontra una forte correlazione tra quasi tutte le variabili di tipo climatico e bioclimatico con la quota, come pure tra la presenza di umbrisols e i rilievi alpini al bordo della pianura. Conseguentemente nel calcolo dei modelli multivariati non sono state considerate le variabili: quota, temp, prec, lang e pedo(umbrisols).

	cambis.	luvis.	ultis.	umbris.	mindel	riss	wurm-m	recente	prealpi	quota	temp	prec	gams	lang	solar	elettro
luvisols	-0.29															
ultisols	-0.28	-0.40														
umbrisols	-0.25	-0.36	-0.35													
mindel	-0.32	+0.44	+0.26	-0.41												
riss	-0.16	+0.13	+0.28	-0.26	-0.33											
wurm-m	+0.63	-0.25	-0.21	-0.10	-0.31	-0.20										
recente	-0.05	+0.02	+0.05	-0.06	-0.19	-0.12	-0.11									
prealpi	+0.03	-0.36	-0.35	+0.76	-0.41	-0.26	-0.24	-0.15								
quota	+0.02	-0.46	+0.03	+0.47	-0.21	-0.18	+0.00	-0.30	+0.63							
temp	+0.04	+0.43	-0.12	-0.38	+0.14	+0.13	+0.06	+0.27	-0.51	-0.95						
prec	+0.08	-0.53	+0.08	+0.41	-0.45	+0.07	+0.08	-0.19	+0.53	+0.77	-0.78					
gams	+0.00	-0.39	+0.01	+0.44	-0.12	-0.23	-0.01	-0.31	+0.59	+0.98	-0.91	+0.63				
lang	+0.01	-0.53	+0.09	+0.47	-0.36	-0.01	+0.01	-0.23	+0.59	+0.88	-0.91	+0.96	+0.78			
solar	-0.16	-0.01	+0.18	-0.07	+0.20	+0.02	-0.09	-0.13	-0.07	+0.18	-0.24	+0.04	+0.21	+0.13		
elettro	-0.08	-0.01	+0.11	-0.02	+0.18	-0.08	-0.07	-0.07	-0.02	+0.04	-0.07	+0.09	+0.01	+0.08	+0.05	
fuoco	+0.01	-0.02	+0.03	+0.01	+0.10	-0.07	-0.10	-0.11	+0.10	+0.14	-0.12	+0.06	+0.14	+0.08	-0.02	+0.10

Tab. 3: valori dei coefficienti di regressione di Spearman (ρ) tra le variabili ambientali analizzate. I valori in grassetto sono quelli per cui $\rho > 0,70$.

Il modello finale ricavato dalla stepwise regression senza interazioni tra le variabili (Tab. 4) è risultato statisticamente equivalente (Chi-quadro = 5.804, d.f. = 2, $p = 0.055$) a quello in cui si sono considerate le interazioni tra le variabili. È stato dunque preferito il modello senza interazioni, anche per la relativa maggior semplicità e interpretabilità rispetto al modello che comprende le interazioni.

Nel modello finale si riscontra come sulla variabile Cv influiscano positivamente la presenza di determinate situazioni geomorfologiche, come geo(prealpi) e geo(mindel), verosimilmente in relazione alla presenza rispettivamente di particolari substrati geolitologici, come la Gonfolite o Conglomerato di Como su cui si possono rinvenire le brughiere rupestri, e/o edafiche, ad esempio i suoli acidi e spesso oligotrofici tipici del Diluvium antico (ARTINI 1927).

Variabili	Coefficienti (\pm s.e.)	Z
(intercetta)	-6.7125 (\pm 0.8957)	-7.494 ^{***}
pedo(ultisols)	-1.1598 (\pm 0.2640)	-4.393 ^{***}
geo(mindel)	+3.4783 (\pm 0.5896)	5.899 ^{***}
geo(prealpi)	+1.7010 (\pm 0.6569)	2.589 ^{**}
gams	+0.2255 (\pm 0.0515)	4.376 ^{***}
fuoco	+0.0103 (\pm 0.0033)	3.085 ^{**}

Tab. 4: parametri del modello finale che interpreta la distribuzione potenziale del brugo e dell'habitat di brughiera nell'area di studio (^{***}, $p < 0.001$; ^{**}, $p < 0.01$; ^{*}, $p < 0.05$).

L'indice di Gams influisce positivamente sulla variabile Cv. Nell'area di studio i valori più elevati di questo indice si rilevano nella parte settentrionale, dove secondo PINNA (1970) si riscontrerebbe la presenza del clima tipo "Cfb" della classificazione di Köppen-Geiger. In accordo con GIMINGHAM (1972), la distribuzione delle brughiere in Europa, almeno per quelle planiziali, è legata proprio a questo tipo di clima.

Anche la presenza di aree incendiate influenza la variabile Cv. Molte brughiere nell'area di studio, in particolare alcune tra le più estese, si sono potute conservare tramite episodici incendi, che consentono infatti di azzerare la componente arboreo-arbustiva, favorendo la rigenerazione del brugo (MOHAMED & GIMINGHAM 1970; HOBBS & GIMINGHAM 1984; LEGG *et al.* 1992). Gli incendi controllati, nell'ottica conservazionistica, sono di fatto oggi rivalutati sotto l'aspetto scientifico per la gestione della vegetazione di brughiera anche in Italia (ASCOLI *et al.* 2005, 2006, 2007), come già avviene in modo consolidato come prassi gestionale in altri paesi europei (DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT FOOD AND RURAL AFFAIRS 2007).

Più complessa è l'interpretazione dell'influenza della variabile pedo(ultisols). Apparentemente questo tipo di suolo, localizzato su ampi tratti dei pianalti, dovrebbe favorire la presenza di *C. vulgaris*, in relazione alle proprietà chimico-fisiche di questi suoli, di tipo argilloso e a reazione decisamente acida (ARTINI 1927). Tuttavia ampi tratti dell'area di studio con ultisols, posti marginalmente ai terrazzi mindeliani, risultano oggi urbanizzati, coltivati oppure occupati da vegetazioni forestali, anche di tipo degradato (es.: robinieti), e quindi si rivelano di fatto inospitali al brugo.

I valori dei cut-off level per il modello riportato nella tabella 4 sono stati rispettivamente 0.431 per Cv = 1 e 0.613 per Cv = 2. La statistica kappa di Cohen è risultata significativa, sia per il primo cut-off level ($k = 0.821$; $Z = 59.539$; $p < 0.001$) sia per il secondo ($k = 0.777$; $Z = 32.454$; $p < 0.001$), indicando perciò che l'abilità descrittiva del modello non è casuale dal punto di visto statistico.

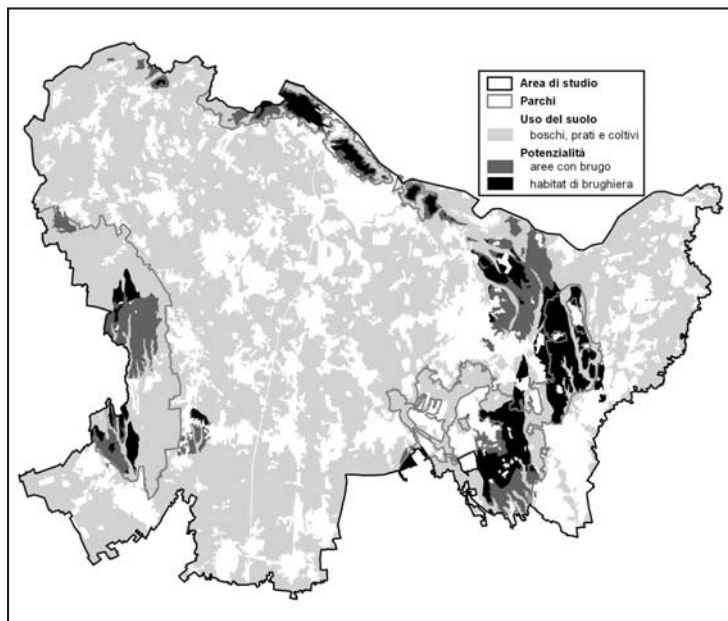


Fig. 2: le potenzialità del brugo e dell'habitat di brughiera nell'area di studio, in relazione ai parchi in cui è stata rilevata e all'uso del suolo (è rappresentata unicamente la distribuzione di boschi, prati e coltivi).

Il modello nella tabella 4, applicato al territorio in esame e a tutte le superfici con vegetazione naturale (boschi) o con uso del suolo di tipo agricolo (prati e coltivi), è restituito cartograficamente nella figura 2. La superficie complessivamente occupata da vegetazione naturale o con uso del suolo di tipo agricolo è pari a circa 270 km² (Tab. 5). Sulla base del modello, le brughiere potrebbero potenzialmente estendersi su circa il 7% del territorio in precedenza riportato (le aree con brugo potrebbero essere invece potenzialmente presenti su circa il 14%, si veda la figura 2). Se quindi raffrontiamo la superficie potenziale delle brughiere con quella censita e quindi cartografata nel presente studio, pari a circa 0.18 km² (equivalente allo 0.07% della superficie occupata da vegetazione naturale o con uso del suolo di tipo agricolo), attualmente le brughiere si insediano su poco meno dell'1% della loro superficie potenziale (19.21 km²).

Analizzando la ripartizione delle brughiere rispetto al sistema di Parchi regionali e Parchi Locali di Interesse Sovracomunale, si riscontrano una relativa maggior presenza di questi habitat nei parchi rispetto alle zone non tutelate (Tab. 6), quantunque le percentuali siano piuttosto variabili tra le diverse aree protette (circa 6 volte superiore nel Parco regionale Spina Verde rispetto al Parco regionale Pineta di Appiano Gentile e Tradate).

uso del suolo	superficie	
	km ²	%
boschi, prati e coltivi	270.25	100.00
habitat di brughiera		
reale (censito)	0.18	0.07
potenziale (da modello)	19.21	7.11

Tab. 5: valori relativi alla superficie attualmente occupata da boschi, prati e coltivi (superficie di riferimento), a quella su cui si estende oggi la brughiera (valutata durante il censimento) e infine a quella potenziale di questo habitat (stima tramite il modello riportato nella tabella 4).

ambito territoriale	superficie		
	reale (km ²) [a]	potenziale (km ²) [b]	% [a/b]*100
aree protette	0.167	14.553	1.15
PLIS Brughiera Briantea	0.120	9.840	1.22
Parco regionale Pineta	0.005	2.069	0.24
Parco regionale Spina Verde	0.042	2.644	1.60
restante territorio	0.011	4.652	0.23

Tab. 6: estensione reale (censita) e potenziale (da modello) delle brughiere, suddivisa tra le re aree protette in cui si rinviene questo habitat e la restante parte dell'area di studio.

La relazione tra la frequenza di brugo (FC) e i valori di LAI è rappresentata nella figura 3. I valori relativi al bosco con *Robinia pseudoacacia* sono stati esclusi dall'analisi di regressione, in quanto appaiono come outlier. Infatti, si discostano fortemente dal trend individuato dai dati relativi alle restanti nove fitocenosi, evidenziando in modo dissonante la completa mancanza di brugo per bassi valori di LAI. *R. pseudoacacia* è, infatti, in grado di modificare profondamente le caratteristiche chimiche dei suoli (RICE *et al.* 2004), tanto che in passato questa specie è stata largamente impiegata per bonificare i terreni improduttivi delle brughiere (MOSER 1957).

La relazione tra i restanti valori può dunque essere interpretata tramite il seguente modello logistico: $(FC + 0.1) = a / (1 + \exp((b - LAI) / c))$, dove $a = +16.08179$, $b = +2.15266$ e $c = -0.19328$. Il modello esibisce un elevato valore di r^2 (0.890) e risulta dal punto di vista statistico altamente significativo ($F_{2,24} = 96.7$; $p < 0.001$).

Nello specifico si osserva un intervallo di LAI, sino a circa 1.5, in cui *C. vulgaris* mostra la frequenza massima possibile. Tra i valori di LAI di 1.5 e circa 2.3 si riscontra una netta e progressiva riduzione nella frequenza di brugo. Per valori di LAI decisa-

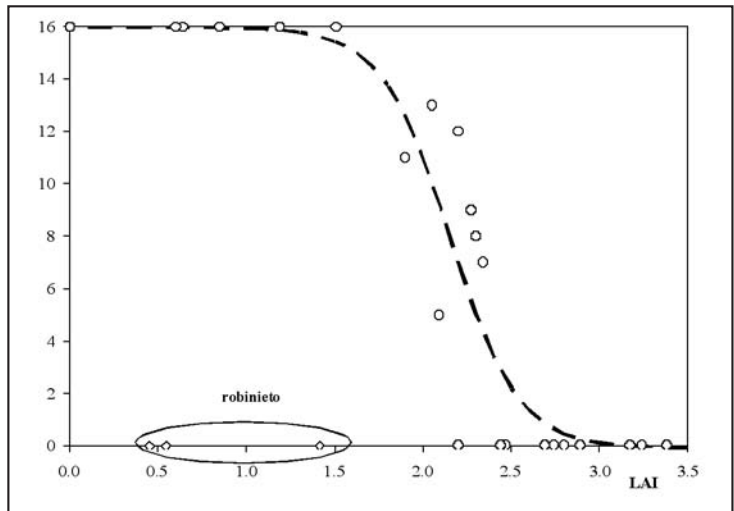


Fig. 3: relazione tra i valori di Leaf Area Index (LAI) e la frequenza di *Calluna vulgaris* (FC) lungo dieci transekti in altrettante fitocenosi. È rappresentata anche la curva che interpola i dati impiegati nella costruzione del modello logistico; i valori relativi al bosco con *Robinia pseudoacacia* non sono stati invece considerati, in quanto considerati outlier.

mente superiori a 2.3 non si osserva più la presenza di brugo. Questi risultati confermano il carattere schiettamente eliofilo di *C. vulgaris* (IASON & HESTER 1993) e consentono di suddividere in modo schematico la tolleranza di questa specie verso la copertura della canopy, quantificata tramite il LAI.

I suddetti valori di LAI risultano quindi di notevole importanza ai fini della gestione delle brughiere e in particolare per quanto concerne il contenimento della componente arboreo-arbustiva, come ad esempio nell'individuazione di stazioni boschive in cui ridurre la copertura delle canopy per riportarvi la brughiera. Di fatto circa i due terzi (67.8%) del territorio potenzialmente occupabile da *C. vulgaris* e dalle brughiere, ospita formazioni boschive la cui attuale estensione si può almeno in parte ricollegare a vicende storiche. Infatti, secondo SULLI & SULLI (1994) l'espansione del bosco a discapito della brughiera, in cui trovano largo uso le specie esotiche, è concomitante alla nascita della selvicoltura moderna e nello specifico all'applicazione di tecniche selvicolturali inerenti i rimboschimenti che raggiungono il culmine negli anni Cinquanta-Sessanta su spinta dell'industria cartaria; è solo dagli anni Sessanta che si iniziano ad affrontare le problematiche inerenti la salvaguardia della natura, paradossalmente parlando ancora di brughiera senza che ne resti quasi la presenza (salvo nei toponimi).

Occorre infine evidenziare come nella maggior parte delle brughiere si è riscontrato un deciso invecchiamento delle po-

popolazioni di brugo: ne consegue che interventi diretti atti a favorire il processo di rigenerazione sono urgenti. La durata della vita di una pianta di *C. vulgaris* è infatti limitata a circa 25 anni e un'età di poco superiore a 30 sembra essere il valore massimo normalmente raggiunto (GIMINGHAM 1960). Considerando il ciclo riproduttivo dei cespugli di brugo (GIMINGHAM 1987), non si ravvisa una vigoria nelle popolazioni locali tale per cui possa avvenire la rigenerazione vegetativa dei cespugli in fase senile, forse in relazione alle particolari condizioni fitoclimatiche al limite di quelle tollerate dalla specie nonchè all'estrema competitività di altre piante come alberi e arbusti, in particolare le specie esotiche invasive (es.: *Robinia pseudoacacia* e *Prunus serotina*). Occorre inoltre rilevare che la capacità di recupero vegetativa del brugo diminuisce in seguito al raggiungimento dello stadio di maturità (HOBBS & GIMINGHAM 1984; CALVO *et al.* 2005) ed in particolare dopo i 15 anni (KAYLL & GIMINGHAM 1965); pertanto occorre intervenire anticipatamente, se possibile, a prescindere dal tipo di tecnica gestionale da praticare.

Conclusioni

Il presente studio ha consentito di valutare la consistenza dell'habitat di brughiera nella parte collinare e pianiziale della provincia di Como e nel Parco Brughiera Briantea. Il territorio complessivo occupato da questa particolare vegetazione è attualmente irrilevante (0.07%). Le brughiere ricoprono infatti lo 0.94% della superficie che potenzialmente potrebbero ancor oggi occupare; le aree protette di fatto non si discostano molto da questi valori.

Si desume quindi il complessivo carattere relittuale di questo tipo di vegetazione, da ricollegarsi sia alle vicissitudini storiche che hanno portato alla "redenzione" dei terreni di brughiera per utilizzo agricolo e soprattutto selvicolturale, sia al relativamente recente e generale abbandono della gestione capillare del territorio con metodi tradizionali e pratiche secolari, come lo sfalcio per la raccolta dello strame di brugo, il pascolo, in particolare ovino, e non ultimo l'impiego del fuoco, ad esempio con l'esercizio del debbio, ben altra cosa rispetto agli incendi incontrollati di natura accidentale o più spesso dolosa che percorrono oggi giorno gli ambienti naturali.

In questo contesto emerge purtroppo anche la scarsa qualità botanico-naturalistica complessiva delle brughiere. La superficie media occupata da una brughiera è di 0.32 ha e il grado di arbustamento, inversamente proporzionale allo stato di conservazione della brughiera, ha raggiunto un tale livello che mediamente un quarto della superficie delle brughiere è oramai occupato da piante arbustive (in prevalenza *Pinus sylvestris*, *Cytisus scoparius*, *Frangula alnus*, *Betula pendula* e *Populus tremula*).

Da questo quadro desolante emerge l'estrema urgenza di attivare un'autorevole e soprattutto efficace pianificazione di conservazione e di ripristino della vegetazione di brughiera, traendo supporto tecnico-scientifico da sperimentazioni da attuarsi in relazione alle particolari condizioni ambientali. Un'efficace tutela nel tempo della brughiera non può comunque prescindere dal coinvolgimento del tessuto sociale e imprenditoriale locale, ridando vigore alle attività tradizionali di gestione del territorio e riportando in tal modo l'imprenditoria agro-silvo-pastorale a riprendersi il ruolo che le compete di custode della natura, quantunque in una visione modernamente consapevole della produzione e dunque nel rispetto della biodiversità e più in generale della sostenibilità ambientale.

Ringraziamenti

La presente ricerca è stata finanziata dal PLIS Brughiera Briantea. Gli Autori desiderano in particolare ringraziare Michele Cereda (PLIS Brughiera Briantea) e Marco Cantini (Provincia di Como).

Bibliografia

- ANDREIS C. & CERABOLINI B., 1995 - La Brughiera briantea: la vegetazione ed il piano di gestione, *Colloques phytosociologiques*, 22: 195-224.
- ARTINI E., 1927 - La brughiera lombarda: appunti geologici, in: "Le brughiere", Federazione italiana dei consorzi agrari, Piacenza: 37-52.
- ASCOLI D., MARZANO R. & BOVIO G., 2005 - Fuoco prescritto sperimentale per la gestione della brughiera, *EM. Linea ecologica*, 37: 19-26.
- ASCOLI D., MARZANO R. & BOVIO G., 2006 - Fuoco prescritto sperimentale per la gestione conservativa della brughiera, *Il Perito agrario*, 53 (4): 25-33.
- ASCOLI D., MARZANO R., BEGHIN R. & BOVIO G., 2007 - *The need for a prescribed burning expertise in Italy: north-western moorlands conservation management by fire*, Wildfire 2007 - 4th International Wildland Fire Conference.
- CALVO L., ALONSO I, FERNANDEZ A.J. & DE LUIS E., 2005 - Short-term study of effects of fertilisation and cutting treatments on the vegetation dynamics of mountain heathlands in Spain, *Plant Ecology*, 179 (2): 181-191.
- Carta dei suoli della Lombardia: scala 1:250000*, 2004, Regione Lombardia, Milano.
- CERABOLINI B., CERIANI R. & DE ANDREIS R., 2004 - Biogeographical, synecological and syntaxonomical outlines of Lombardy and Piedmont lowland heathlands (NW Italy), *Colloques phytosociologiques*, 28: 629-640.

DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, FOOD AND RURAL AFFAIRS (DEFRA), 2007 - *The Heather and Grass Burning Code*, Defra Publications, London.

EUROPEAN COMMISSION - DG ENVIRONMENT, 2007 - *The Interpretation Manual of European Union Habitats*, EUR27. EEC.

FAO, 1998 - *World reference base for soil resources*, FAO, Rome.

FU P. & RICH P.M., 1999-2000 - *The Solar Analyst 1.0: user manual*, Helios Environmental Modeling Institute (HEMI), USA.

GIMINGHAM C.H., 1960 - Biological Flora of the British Isles: *Calluna* Salisb., *Journal of Ecology*, 48: 455-483.

GIMINGHAM C.H., 1972 - *Ecology of Heathlands*, Chapman and Hall, London.

GIMINGHAM C.H., 1987 - Harnessing the winds of change: heathland ecology in retrospect and prospect: presidential address to the British Ecological Society, December 1986, *Journal of Ecology*, 75: 895-914.

GOWER S.T. & NORMAN J.M., 1991 - Rapid estimation of Leaf Area Index in conifer and broadleaf plantations, *Ecology*, 72: 1896-1900.

HOBBS R.J. & GIMINGHAM C.H., 1984 - Studies on fire in Scottish heathland communities. 2: Post fire vegetation development, *Journal of Ecology*, 72: 585-610.

HOTHORN T., HORNIK K. & ZEILEIS A. 2006 - *Party: a laboratory for recursive Part(y)itioning*, <http://cran.r-project.org/src/contrib/Descriptions/party.html>

JASON G.R. & HESTER A.J., 1993 - The response of heather (*Calluna vulgaris*) to shade and nutrients-predictions of the carbon-nutrient balance hypothesis, *Journal of Ecology*, 81: 75-80.

IHAKA R. & GENTLEMAN R., 1996 - R: a language for data analysis and graphics, *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5: 229-314.

KAYLL A.J. & GIMINGHAM C.H., 1965 - Vegetative regeneration of *Calluna vulgaris* after fire, *Journal of Ecology*, 53: 729-734.

LEGG C.J., MALTBY E. & PROCTOR MC.F., 1992 - The ecology of severe moorland fire on the north York Moors: seed distribution and seedling establishment of *Calluna vulgaris*, *Journal of Ecology*, 80: 737-752.

MICHALET R., 1991 - Nouvelle synthèse bioclimatique des milieux méditerranéens: application au Maroc septentrional, *Revue d'Ecologie Alpine*, 1: 45-60.

MOHAMED B.F. & GIMINGHAM C.H., 1970 - The morphology of vegetative regeneration in *Calluna vulgaris*, *New Phytologist*, 69 (3): 743-750.

MOSER L., 1957 - Agricoltura e foreste nelle brughiere italiane, in: "Le brughiere lombarde", Associazione forestale lombarda ; Cassa di Risparmio delle Province Lombarde, Milano: 21-165.

PAVARI A., 1927 - Boschi e brughiere, in: "Le brughiere",

Federazione italiana dei consorzi agrari, Piacenza: 197-232.

PEREGO E., 1957 - Note sulla Groana del Canturino, in: "Le brughiere lombarde", Associazione forestale lombarda ; Cassa di Risparmio delle Province Lombarde, Milano: 233-241.

PINNA M., 1970 - Contributo alla classificazione del clima in Italia, *Rivista geografica italiana*, 77 (2): 129-152.

R: *a language and environment for statistical computing*, 2006, R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

RAIMONDI B., 2003 - *Modellizzazione della distribuzione potenziale di specie e vegetazioni delle Alpi italiane ai fini della valutazione dei possibili impatti dei cambiamenti climatici*. Università degli Studi dell'Insubria. Tesi del Dottorato di Ricerca.

REGIONE LOMBARDIA, 2000 - *Sistema Informativo Territoriale (SIT): base dati geografica alla scala 1:10.000 (CT10), v.1.0*, Regione Lombardia, Milano.

REGIONE LOMBARDIA, 2003a - *Sistema Informativo Territoriale (SIT): basi Ambientali della Pianura: banca dati della geomorfologia*, Regione Lombardia, Milano.

REGIONE LOMBARDIA, 2003b - *Sistema Informativo Territoriale (SIT): modello digitale del terreno del territorio lombardo (DTM20)*, Regione Lombardia, Milano.

REGIONE LOMBARDIA, 2003c - *Piano regionale delle attività di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi*, Regione Lombardia, Milano.

RICE S.K., WESTERMAN B. & FEDERICI R., 2004 - Impacts of the exotic, nitrogen-fixing black locust (*Robinia pseudoacacia*) on nitrogen-cycling in a pine-oak ecosystem, *Plant Ecology*, 174: 97-107.

SAKAMOTO Y., ISHIGURO M. & KITAGAWA G., 1986 - *Akaike Information Criterion Statistics*, Reidel Publishing Company, Dordrecht.

SIEGEL S. & CASTELLAN N.J.JR., 1988 - *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*, McGraw-Hill, Boston.

SULLI M., 1985 - Boschi e brughiere dell'Altopiano milanese: duecento anni di dibattito, *Ann. Ist. sper. Selvic.*, 16: 313-371.

SULLI M. & SULLI A.Z., 1994 - Da brughiera a bosco: l'altopiano milanese dalla fine del Settecento a oggi, *Storia urbana*, 69: 35-72.

Consegnato il 26/9/2008.